



**University of
Zurich**^{UZH}

**Zurich Open Repository and
Archive**

University of Zurich
University Library
Strickhofstrasse 39
CH-8057 Zurich
www.zora.uzh.ch

Year: 2019

3D-Scans und 3D-Drucke in der Musikarchäologie. Möglichkeiten und experimentalarchäologische Praxisbeispiele

Flatscher, Elias ; Praxmarer, Michael ; Recheis, Wolfgang ; Schick, Michael

Abstract: 3D-scans and 3D-printing in music archaeology. Possibilities and experimental archaeological practical examples. Due to new technologies, such as 3D-scanning and 3D-printing, revolutionary approaches have been made possible in the reconstruction of musical instruments found in archaeological sites. According to our tests, the method of 3D-scanning is safe, free of contamination, as well as interferences and does not affect the original material, provided that the original is made of suitable material and does not contain any metal parts. Whereas an ordinary documentation based on drawings and pictures does not always allow deeper understanding of the reconstruction of a fragmented instrument, the method of micro CT-scanning, if necessary digitally completing (based on pre-scanned samples) and 3D-printing allows the creation of an exact copy of the examined object, which is innumerablely reproducible in order to experiment with different possibilities of the reconstruction. The exactness of these approaches has been successfully proven through frequency analysis on both the original and the 3D-printed clone. So the music of broken instruments can be brought back to life with comparatively little effort of time and money.

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-183860>

Book Section

Published Version

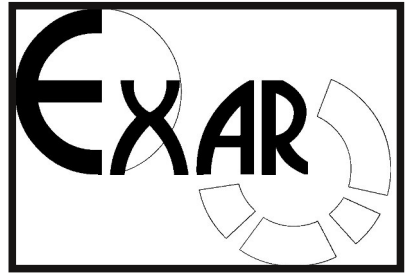
Originally published at:

Flatscher, Elias; Praxmarer, Michael; Recheis, Wolfgang; Schick, Michael (2019). 3D-Scans und 3D-Drucke in der Musikarchäologie. Möglichkeiten und experimentalarchäologische Praxisbeispiele. In: Schöbel, Gunter. Experimentelle Archäologie in Europa: Jahrbuch 2019. Unteruhldingen: Isensee, 140-152.

EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE IN EUROPA
Jahrbuch 2019
Heft 18

Herausgegeben von Gunter Schöbel
und der Europäischen Vereinigung zur
Förderung der Experimentellen
Archäologie / European Association for
the advancement of archaeology by
experiment e.V.

in Zusammenarbeit mit dem
Pfahlbaumuseum Unteruhldingen,
Strandpromenade 6,
88690 Unteruhldingen-Mühlhofen,
Deutschland



EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE
IN EUROPA
JAHRBUCH 2019

Unteruhldingen 2019

Gedruckt mit Mitteln der Europäischen Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie / European Association for the advancement of archaeology by experiment e.V.

Gedruckt mit Mitteln des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg und dem Staatsministerium der Bundesregierung für Kultur und Medien

gefördert im Rahmen
der Landesinitiative
„Kleine Fächer“ in
Baden-Württemberg



Redaktion:	Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller, Erica Hanning
Textverarbeitung und Layout:	Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller
Bildbearbeitung:	Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller
Umschlaggestaltung:	Thomas Lessig-Weller, Ulrike Weller

Umschlagbilder: R. Schwarz, M. Arz, H. Gieß

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie, detaillierte bibliographische Daten sind im Internet abrufbar unter:
<http://dnb.dbb.de>

ISBN 978-3-944255-15-6

© 2019 Europäische Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie / European Association for the advancement of archaeology by experiment e.V. - Alle Rechte vorbehalten

Gedruckt bei: Beltz Bad Langensalza GmbH, 99947 Bad Langensalza, Deutschland

Inhalt

Gunter Schöbel

Vorwort

8

Experiment und Versuch

Sebastian Probst, Anja Probst, Rengert Elburg, Wulf Hein

Spalten mit neolithischem Werkzeug

10

Benedikt Biederer

Experimenteller Nachbau von Speichergruben

21

Mirko Runzheimer

Stiftung Steinzeittext > Kleber

35

Thomas Rose, Sabine Klein, Erica Hanning

Verhüttungsexperimente mit Chalkopyrit-Erz nach Vorbildern aus dem
bronzezeitlichen Ostalpenraum und Nepal

47

Markus Binggeli

Gold in Kupfer in Bronze – frühbronzezeitliche Metalltechnik rekonstruiert

61

Sonja Guber

Prähistorische Bienenhaltung in Mitteleuropa – Rekonstruktion und Betrieb
eines Rutenstülpers

75

Herbert Gieß, Christoph Zorn, Katrin Zorn

Prähistorische Bienenhaltung in hohlen Baumstämmen

82

Klemens Maier, Alexander Hanser, Oskar Hörtner, Christian Hörtnagel,

Daniel Draxl, Matthias Leismüller, Manuel Muigg

Rezepturentwicklung von Opus Caementitium zur Verwendung in Hypokaust-
heizungen – Einfluss der Ausgangsmaterialien

95

Hannes Lehar

Der „Norische Nischenofen“: studiert – probiert

105

Erica Hanning, Anna Axtmann

Reconstruction of an Early Modern Wood-fired Chemist's Furnace

117

Rekonstruierende Archäologie

Erika Berdelis unter Mitwirkung von Gisela Nagy

Eine Möglichkeit zur Herstellung prähistorischer Keramikrepliken 128

Elias Flatscher, Michael Praxmarer, Wolfgang Recheis, Michael Schick

3D-Scans und 3D-Drucke in der Musikarchäologie. Möglichkeiten und experimentalarchäologische Praxisbeispiele 140

Wolfgang F. A. Lobisser

Zur experimentalarchäologischen Herstellung eines Einbaums aus Eichenholz mit Werkzeugen, Methoden und Techniken der Bronzezeit 153

Thorsten Helmerking

Prähistorischer Bronzeguss und die Lauterkeit: Was kann ich wissen? Was soll ich tun? 171

Jan Hochbruck

Der Schutz des Wachses. Versuche zur Nachschöpfung einer antiken Schiffsfarbe 181

Helga Rösler-Mautendorfer

Zur Rekonstruktion einer provinzialrömischen Frauentracht nach einer bemalten Platte einer Dromos-Verkleidung aus Brunn am Gebirge 190

Vermittlung und Theorie

Gunter Schöbel

Experimentelle Archäologie in Europa – State of the art 2019 201

Vera Edelstein, Gunter Schöbel

Vermittlung und Rezeption von Experimenteller Archäologie am Beispiel der Veranstaltungsreihe „Experimentelle Archäologie aus Europa – Wissen erlebbar gemacht“ im Pfahlbaumuseum in Unteruhldingen am Bodensee 215

Jeroen Flamman

Archaeological Open-air Centres and Solitary Archaeological Constructions in the Netherland 225

<i>Katja Thode</i> „Archäologie der Zukunft – Direktvermittlung Wissen“. Ein Kooperations- projekt von Museum und Universität	239
<i>Bettina Birkenhagen, Frank Wiesenberger</i> Der experimentalarchäologische Werkstattbereich im Archäologiepark Römische Villa Borg	245
<i>Rüdiger Schwarz</i> Zu den Grenzen der Darstellbarkeit in der Living History	257
<i>Kai Böldtler</i> „Schüler heizen ein!“ Nachbau von Rennöfen in den Schülerpraktika des Alamannen-Freilichtmuseums Vörsstetten	273
<i>Claudia S. Riedt</i> A journey to the Stone Age-people in the highlands of New Guinea – cooking with the earth oven	284
<i>Peter Walter</i> Zur Nutzung von Bienenwachs von der Urgeschichte bis in die Neuzeit – eine Vorstudie	293
<i>Matthias Baumhauer</i> Knoten in der Stein- und Bronzezeit	308
<i>Arnulf Braune</i> Der Transport der Stonehenge-Steine	314
 Jahresbericht, Nachruf und Autorenrichtlinien	
<i>Ulrike Weller</i> Vereinsbericht der Europäischen Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie e.V. (EXAR) für das Jahr 2018	321
<i>Gunter Schöbel</i> Nachruf: Sylvia Crumbach 1969-2019	325
Autorenrichtlinien „Experimentelle Archäologie in Europa“	326

Vorwort

Liebe Mitglieder des Vereins, liebe Leserinnen und Leser,

Die Tagung 2018 in Unteruhldingen vom 27. bis 30. September war bei bestem Wetter, vielen fruchtbaren Erörterungen und qualitätsvollen Beiträgen ein großer Erfolg. Die Experimentelle Archäologie in Europa gastierte am Bodensee. Das abwechslungsreiche Programm umfasste 29 Vorträge und 15 Posterpräsentationen im gerade neu eröffneten Weltkulturerbe-Saal der Gemeinde Uhldingen-Mühlhofen. Elf Vermittlungseinheiten zur Experimentellen Archäologie konnten im Freilichtmuseum durch SpezialistInnen und PädagogInnen des Fachs als Ergebnis einer ganzjährigen Veranstaltungsreihe im Europäischen Kulturerbejahr mit allen Erfahrungen in Vorführungen erläutert werden. Gefördert wurde die Veranstaltung von der Standortgemeinde, dem Pfahlbaumuseum, dem Ministerium für Wissenschaft und Kunst in Baden-Württemberg im Rahmen des Sonderprojektes „Kleine Fächer – Archäologie der Zukunft“ und nicht zuletzt durch die Staatsministerin für Kultur und Medien bei der Bundesregierung Deutschland unter dem Motto „Sharing Heritage“. Allen Verantwortlichen und den Mitarbeitern des Museums sei an dieser Stelle noch einmal ganz herzlich für die Unterstützung und für die vielfältige Hilfe gedankt.

Die Vermittlung von Experimenteller Archäologie in Museum und Schule, aber auch gegenüber einer breiten Öffentlichkeit, war der Schwerpunkt der Jahrestagung. Davon künden unter anderem die Beiträge in diesem Band unter der Rubrik Vermittlung und Theorie. „Best-Practice-Beispiele“ aus den Museen erläutern die-

sen Punkt ausführlicher und laden damit alle Interessierten zur Nachahmung bewährter Vermittlungsmodule an anderen Orten ein. Die rekonstruierende Archäologie beleuchtet die Herstellung von Werkzeugen und neue Techniken zur Herstellung von alten Objekten in gewohnter Qualität. Ein besonderes Gewicht lag in diesem Jahr auf dem Thema der Bienen und ihrem Nutzen für die prähistorischen Menschen. Ein neues hochinteressantes Feld. Aktuelle Experimente und Versuche näherten sich mit spannenden und neuen Fragestellungen ausführlich den möglichen Antworten zu noch ungeklärten Rezepturen, Techniken und archäologischen Befunden und leisteten damit ihren stets wichtigen Beitrag zur prähistorischen Wissenschaft. Es ist ein in sich geschlossenes und informatives Jahrbuch entstanden, auf das wir als Verein alle stolz sein können.

Besonders zu danken ist dafür dem Redaktionsteam um Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller und Erica Hanning, die wieder in zahlreichen ehrenamtlichen Stunden die Entstehung des Buchs bis zum Druck begleiteten.

Herzlichen Dank allen Autorinnen und Autoren.

Und Ihnen allen viel Freude beim Lesen der Ausgabe 2019.

Unteruhldingen im August 2019

Prof. Dr. habil. Gunter Schöbel
Vorsitzender

3D-Scans und 3D-Drucke in der Musikarchäologie

Möglichkeiten und experimentalarchäologische Praxisbeispiele

Elias Flatscher, Michael Praxmarer, Wolfgang Recheis, Michael Schick

Summary – 3D-scans and 3D-printing in music archaeology. Possibilities and experimental archaeological practical examples. *Due to new technologies, such as 3D-scanning and 3D-printing, revolutionary approaches have been made possible in the reconstruction of musical instruments found in archaeological sites.*

According to our tests, the method of 3D-scanning is safe, free of contamination, as well as interferences and does not affect the original material, provided that the original is made of suitable material and does not contain any metal parts.

Whereas an ordinary documentation based on drawings and pictures does not always allow deeper understanding of the reconstruction of a fragmented instrument, the method of micro CT-scanning, if necessary digitally completing (based on pre-scanned samples) and 3D-printing allows the creation of an exact copy of the examined object, which is innumerablely reproducible in order to experiment with different possibilities of the reconstruction. The exactness of these approaches has been successfully proven through frequency analysis on both the original and the 3D-printed clone. So the music of broken instruments can be brought back to life with comparatively little effort of time and money.

Keywords: *Experimental music-archaeology, Tyrol, micro-CT-scanning, digital modelling, 3D-print, replicas*

Schlagworte: *Experimentelle Musikarchäologie, Tirol, Micro-CT-Scans, digitales Modellieren, 3D-Druck, Repliken*

Das Autorenteam ist Teil der AGMAI (Arbeitsgruppe für Musikarchäologie Innsbruck), die sich seit 2001 (siehe SCHICK 2001; TOMEDI 2001) mit der Rekonstruktion von Musikinstrumenten aus archäologischen Kontexten – schwerpunktmäßig aus dem Raum Tirol – sowie der damit verbundenen Öffentlichkeitsarbeit befasst.

Warum 3D-Druck?

Im Zuge dieser Tätigkeiten kam insbesondere in Hinblick auf Aerophone aus tierischem Skelettmaterial die schwere Beschaffbarkeit von passendem Rohmaterial wiederholt zur Sprache, welches stets das größere Problem als die eigentliche Rekonstruktion darstellte. Die für die

Rekonstruktion von solchen Fundobjekten erforderlichen Knochen stammen häufig von geschützten Tierarten, vor allem Großvögeln wie Schwan, Geier und Reiher, und sind daher naturgemäß knapp. So ist es schon von vorne herein schwierig, den richtigen Knochen überhaupt zu bekommen, zudem müsste das fragliche Tier im Idealfall in Hinblick auf Wuchs, Pathologien etc. genau dem gesuchten Knochen entsprechen. Selbst wenn diese Faktoren zusammenkommen sollten, ist es noch um ein Vielfaches schwieriger, an praktisch identischem Material diverse Rekonstruktionsmöglichkeiten wie Lochanzahl oder Mundstückgestaltung (siehe RINGOT 2012) zu testen. Aus eben diesen Gründen beschloss das Autorenkollektiv im Mai 2015 die Einsatzmöglichkeiten des 3D-Scans und 3D-Drucks für diese Zwecke auszuloten.

Der in Folge erarbeitete Versuchsaufbau erforderte zunächst möglichst genaue 3D-Scans von spielbaren Knochenflöten (Repliken) zu erstellen. Nach mehreren nur teilweise erfolgreichen Anläufen wurde mit freundlicher Unterstützung durch Dr. Wolfgang Recheis von der medizinischen Universität Innsbruck eine Versuchsreihe mit dem Mikro-CT-Scanner gestartet, die aufgrund dessen einschlägiger Erfahrung und der hohen Präzision der verwendeten Geräte das gewünschte Ergebnis erbrachte.

Um die Schwierigkeiten und die Problematik zu demonstrieren, die bei der Erzeugung (Generierung) von Repliken solcher Funde (im vorliegenden Fall Aerophonien) entstehen, seien sie nun analog oder digital generiert, muss im Folgenden zunächst auf einige grundlegende Fragestellungen der Musikarchäologie eingegangen werden sowie auf die Einsatzmöglichkeiten von 3D-Scans und 3D-Drucken in der experimentellen Musikarchäologie. Abschließend soll dies an praktischen Beispielen mit Frequenzanalysen demonstriert werden, wobei in diesem

Rahmen auf bestehende Forschungsde-siderate hingewiesen wird.

Grundlegende Fragestellungen

In einem ersten Schritt ist, speziell bei stark fragmentierten Fundobjekten, die Frage zu klären, ob es sich bei dem jeweiligen Objekt überhaupt um ein klang-erzeugendes Objekt im Sinn eines „Musikinstrumentes“ (z. B. Flöte) oder um ein „Klanggerät“ für sonstige Verwendung-spektren (z. B. Jagdlockpfeifen) handelt. Dies ist speziell bei stark fragmentierten Funden oftmals schwer möglich.

Die analoge oder digitale Erstellung einer funktionsfähigen, beispielbaren Replik eines solchen fragmentierten Fundes hängt direkt von möglichst vollständigen Vergleichsfunden und deren Interpretation im Kontext des jeweiligen Fundes ab. Ist dies nicht gegeben, kann eine sinnvolle Erstellung einer Replik nicht gewährleistet sein. Ohne eine beispielbare und möglichst exakte Replik sind weitere grundlegende Informationen zum Fundobjekt aber nicht oder nur bedingt möglich.

Handelt es sich, wie in den hier ausgewählten Beispielen, um Flöten, sind dies unter anderem Fragen nach dem Grundton, nach der Stimmung, dem Tonvolumen, nach einer Frequenzanalyse sowie der anwendbaren Spieltechnik der Flöte.

Zusätzlich zur generellen Bedeutung von Rekonstruktionen sprechen folgende Argumente für den Einsatz von 3D-Scans und 3D-Drucken in der experimentellen Musikarchäologie:

Das Original wird durch den Kopier-/Scanvorgang in keiner Weise tangiert oder kontaminiert.

Speziell bei stark fragmentierten Funden von z. B. Flöten ist eine Ergänzung auf Basis von eingescanntem Datenmaterial (Tierknochen aus Museumssammlungen etc.) möglich; diese können dann gegebenenfalls digital skaliert oder modifiziert werden, um dem Original möglichst nahe

zu kommen, bevor die Fragmente digital eingepasst werden. Dieser Schritt ist technisch möglich, war jedoch nicht Teil der vorgestellten Versuchsreihe.

Des Weiteren ist eine digitale Erstellung des oftmals nicht erhaltenen Blocks möglich. Unter dem Block einer Kernspaltflöte ist ein in den Schnabelbereich des Instruments eingesetztes passgenaues Holzstück zu verstehen, durch dessen obere Abflachung ein Hohlraum (Windkanal) zwischen dieser Fläche und der oberen Innenwandung des Schnabels gebildet wird, durch den der Luftstrom beim Anblasen direkt auf die Schneidekante am Aufschnitt gelenkt wird, sodass der Ton („Anpiff“) entsteht. Die Lage und Ausrichtung dieses Blocks im Flötenrohr ist für die Tonerzeugung (Anblasen) des Instruments entscheidend. Bei analogen Repliken ist eine Erstellung dieses Blocks, vor allem dessen Platzierung im Flötenrohr und eine damit verbundene Windführung für die Tonerzeugung oftmals schwierig und erfordert häufig mehrere Anläufe (bei der Rekonstruktion einer Flöte aus Haitabu durch die Verfasser wurden z. B. nicht weniger als 25 Blöcke bis zum ersten Anpiff ausprobiert). Digitale Windkanalberechnungen und ein damit verbundenes digitales Modellieren und Situieren dieses Blocks im Instrument könnten eine direkte Beispielbarkeit der ausgedruckten Replik und somit relativ exakte Tonuntersuchungen und Fragen nach Spieltechniken ermöglichen. Auch hier sind die Versuche der Verfasser noch im Frühstadium.

Durch den im Verlauf der Scans erstellten Datenpool ist eine beliebige „endlose Replizierbarkeit“ des jeweiligen Fundes (in seiner ergänzten Form) gewährleistet. Dies ermöglicht die Erstellung von einschlägigen Datenbanken, die nicht nur Maße und Klangspektrum, sondern alle für die Replizierung der Flöte erforderlichen Daten umfassen und somit aus Sicht der Verfasser das aktuelle Doku-

mentationsoptimum darstellen. Mittel- und langfristig können diese Datenbanken aber auch ein geeignetes Tool für die museale Verwendung, Museumshops, aktive Musiker etc. darstellen.

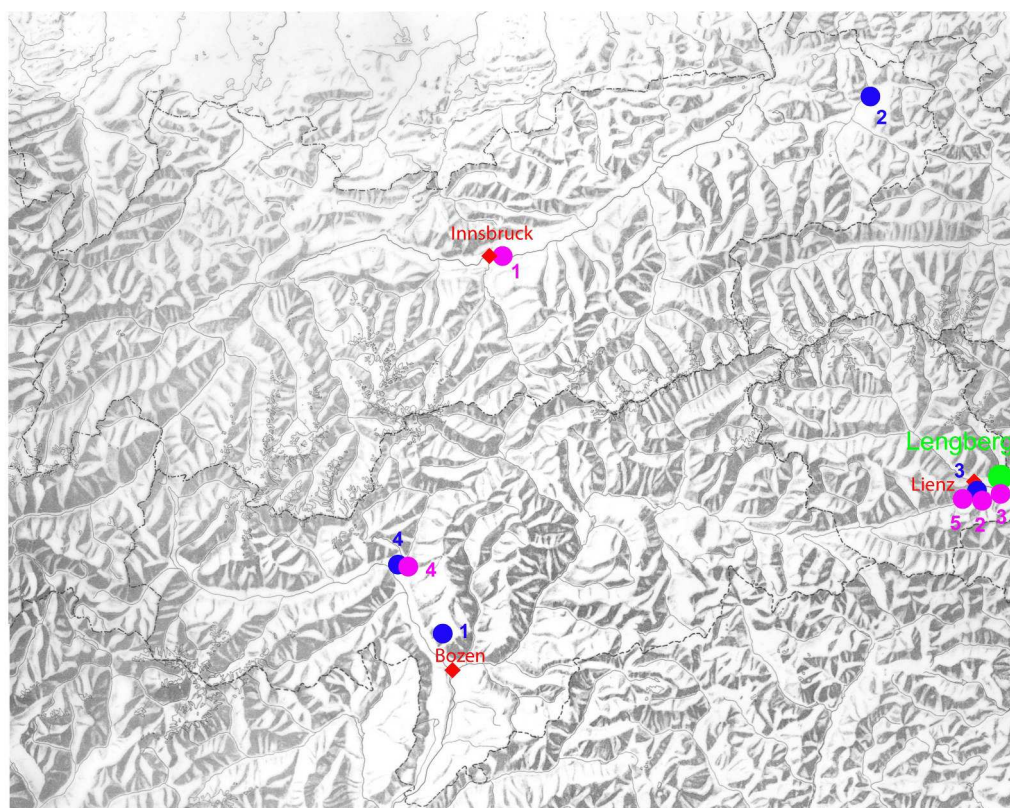
Funde von Aerophonen aus Tirol

Um die Datengrundlage darzustellen, sei hier kurz auf das Fallbeispiel Tirol eingegangen. Wie auch bei archäologischen Grabungen im Allgemeinen finden sich im Großraum Tirol (Süd-/Ost-/Nordtirol) immer wieder mehr oder weniger stark fragmentierte Knochenflöten und Lockpfeifen, deren Fundorte die Verbreitungskarte (*Abb. 1*) zeigt. Die Datierung der Fundobjekte spannt sich über den Zeitraum Mittelalter und Neuzeit.

Im Gegensatz zu Funden von Knochenflöten außerhalb Tirols sind die bislang bei archäologischen Untersuchungen in Tirol geborgenen Flöten aus dem Zeitraum „Mittelalter/Neuzeit“ stark fragmentiert. Dies macht aber eine Rekonstruktion problematisch bzw. stark hypothetisch. Untersuchungen zum jeweiligen Tonspektrum oder Fragestellungen zum detaillierten Aufbau einzelner Instrumententeile waren dadurch ebenfalls nur bedingt möglich.

Durch die bei allen diesen Funden durchgeführten konservatorischen Arbeiten (reinigen, härten etc.) schied bei der Mehrheit dieser Stücke die Möglichkeit aus, über organische Spuren am jeweiligen Objekt Informationen zu dessen Nutzung oder Nachnutzung zu erhalten. Für Neufunde ist eine eingehende Dokumentation und umfangreiche Beprobung im Fundzustand natürlich inzwischen unumgänglich. Dies trifft auch auf den gesamten Fundbestand an Lockpfeifen aus dem Tiroler Raum zu.

An drei Beispielen (je zwei Flöten- und ein Lockpfeifenfund) soll das durch die starke Fragmentierung sehr problematische Ausgangsmaterial (*Abb. 2*) unserer



● **Flötenfunde aus Knochen**

- 1 Burg Greifenstein bei Bozen
- 2 Burg Erpfenstein bei St. Johann
- 3 Schloss Bruck / Lienz
- 4 Schloss Tirol bei Meran

● **Lockpfeifenfunde aus Knochen**

- 1 Hall in Tirol
- 2 Lienz
- 3 Lavant in Osttirol
- 4 Schloss Tirol
- 5 Schloss Bruck

● **Flötenfund Lengberg aus Holz**

Abb. 1: Flötenfunde aus archäologischen Grabungen in Alttirol. – Archaeological fragments of flutes from the Tyrol region.

digitalen Versuche demonstriert werden, an deren vorläufigem „Abschluss“ der im Beitrag skizzierte Versuch einer digitalen Ergänzung (Ausdruck) eines Instrumentenfundes aus Schloss Tirol steht. Ein Flötenfragment stammt aus der Burgstelle Erpfenstein bei St. Johann, Gem. Kirchdorf in Tirol, BH Kitzbühel (Nordtirol) (Abb. 2.1), an dem einzelne Bearbeitungsspuren (z. B. Feilhiebe) dokumentiert werden

konnten. Trotz der starken Fragmentierung ist das Objekt als Kernspaltflöte mit drei in Reihe angebrachten vorderständigen Bohrungen und facettiertem Querschnitt anzusprechen. Das bei Ausgrabungen 1986/90 in der Burgruine Erpfenstein durch Harald Stadler ergrabene Instrument besteht aus der Tibia von Schaf oder Ziege und wurde erst bei der nachträglichen Sichtung der Tierknochen im

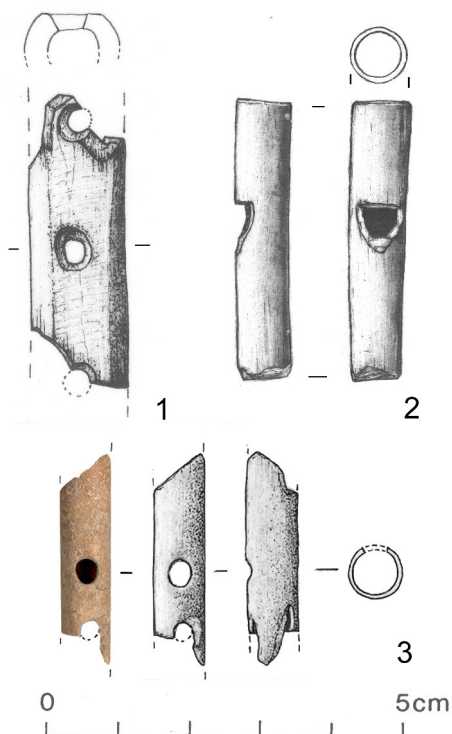


Abb. 2: Auswahl von Flötenfunden aus archäologischen Grabungen in Altirol: 1 Burg Erpfenstein/Erpfendorf (Nordtirol); 2 Saline Hall (Nordtirol); 3 Schloss Tirol/Dorf Tirol (Südtirol). – Selection of flute finds from the Tyrol region: 1 Erpfenstein/Erpfendorf (Northern Tyrol); 2 Saline Hall (Northern Tyrol); 3 Schloss Tirol/Dorf Tirol (Southern Tyrol).

Gemeindearchiv von Kirchdorf entdeckt. Die Bestimmung dieses und der weiteren im Beitrag erwähnten Knochenflöten erfolgte dankenswerterweise durch George McGlynn (Staatssammlung für Anthropologie und Paläoanatomie München (SAPM)). Formale Kriterien und die Bearbeitungsspuren (Feilhiebe, Polierspuren, Abfasungen der Flötenröhre) des Flötenfragments machten es möglich, das Stück als qualitätsvolle Kernspaltflöte des 14. Jh. anzusprechen (SCHICK 2001, 92, Abb. 5).

Eine nahezu vollständig erhaltene, aus ei-

nem Teil eines Röhrenknochens geschnittene Lockpfeife mit halbrund eingeschnittenem vorderständigem Aufschnitt mit Labium und zylindrischer Bohrung stammt aus Hall in Nordtirol, PB Innsbruck-Land, B.Parz.69 und konnte im Verlauf der Ausgrabung 1998 im Areal der Saline (Salinengarten, Schnitt A, Quadrant 1, Abhub 6, Sektor b., Inv.-Nr. S 27/1) durch Alexander Zanesco geborgen werden (Abb. 2.2). Das aus einem Vogelknochen (Ulna?) hergestellte Objekt ist an beiden Enden abgelängt, wobei ein Ende durch konische Schnitzung verjüngt und die Oberfläche geglättet ist. Bezugnehmend auf den Befund (Auffüllschicht des 17. Jh.) ist die Jagdlocke in diese Zeitspanne datierbar.

Bei allen Unterschieden haben aber alle in Tirol bislang geborgenen Flöten und Lockpfeifen gemeinsam, dass sie in herkömmlicher Weise, basierend auf dem Kanon eines archäologischen Dokumentationsschemas, dokumentiert wurden:

- Profile in Linienzeichnung
- Ansichten in Strichzeichnung mit unterschiedlicher Strich- bzw. Fototechnik

Auch hier steht der technische Fortschritt nicht still, so umfasst das von der AGMAI für die Funddokumentation angewandte Verfahren inzwischen auch RTI-Fotografien (Abb. 7 rechts) sowie Aufnahmen mit einem hochauflösenden Keyence Mikroskop, mit dem auch virtuelle 3D-Modelle am Computer und feinste Profilschnitte darstellbar sind, mit denen ansonsten kaum sichtbare Bearbeitungsspuren besser visualisiert werden können (siehe Abb. 5).

Doch gerade bei Funden von klangerzeugenden Objekten kann und darf eine solche herkömmliche Methode nicht genügen, da die oben skizzierten musikalisch-archäologischen Fragestellungen in den Dokumentationsfokus rücken müssen. Es sind dies bei Flötenfunden vor allem:

- Sinnvolle Ergänzung der Fragmente zu einem vollständigen Instrument.

- Welcher Grundton ist möglich?
- Wie könnte die Stimmung gewesen sein (daraus folgend: Eignet sich das Stück zum Spielen der ggf. überlieferten zeitgenössischen Stücke? Ist es ggf. mit anderen erhaltenen Stücken enemblefähig?).
- Ist eine Frequenzanalyse möglich? Über welches Tonvolumen verfügt das (ergänzte) Instrument und ist eine mögliche Bespieltechnik erschließbar?

Um diese und weitere Fragen zu klären, braucht es eine möglichst exakte und, wenn möglich, auch eine vertretbar ergänzte Replik des jeweiligen Fundstückes, da das Original aus unterschiedlichen Gründen (z. B. zu stark fragmentiert wie der unten beschriebene Flötenfund von Schloss Tirol, oder aus konservatorischen Gründen wie bei dem Fund einer Einhandflöte des 15. Jhs. aus Schloss Lengberg bei Nikolsdorf/Osttirol; SCHICK 2010) nicht bespielt werden kann/darf. Doch nur anhand von Beispielen können einzelne der oben angerissenen Fragen partiell einer Klärung zugeführt werden.

3D-Ausdruck

Der derzeitige Stand des 3D-Printing eröffnet vielfältige Möglichkeiten, wie unter anderem der Ausdruck eines Aulos von Barnaby Brown aus Cambridge (<<https://www.thingiverse.com/thing:2017991>>) (letzter Zugriff 27.11.2018) zeigt.

Um die Exaktheit des Verfahrens zu testen, wurden von der Arbeitsgruppe zwei archäologische Funde ausgewählt, nämlich das in der Musikarchäologie bereits mehrfach (RINGOT 2012; CONARD U. A. 2015) thematisierte, aus Schwanenknochen gefertigte Aerophon aus der Geißenklösterle-Höhle sowie eine mutmaßliche Flöte aus Schichten des frühen 14. Jh. aus dem Wirtschaftstrakt von Schloss Tirol (FLATSCHER 2018, 419, Taf. 4 H53). (Abb. 2.3). Bei beiden Objekten war zu-

nächst ausschlaggebend, dass ein spielbarer Nachbau zur Verfügung stand, welcher für Testscans verwendet werden konnte; jedoch waren mit beiden Objekten noch weiterführende Fragestellungen verbunden. Im Fall des paläolithischen Aerophons sollten unterschiedliche Formen des Mundstücks, darunter verschiedene Einfach- und ggf. Doppelrohrblätter, Anspielrichtungen und Anspieltechniken, basierend auf einer einheitlichen Materialgrundlage, miteinander verglichen werden. Das Objekt aus Schloss Tirol dagegen bot sich aufgrund seiner Kleinheit als „Extremtest“ zur Genauigkeit einer 3D-Abformung (speziell im Hinblick auf den Innenbereich der Flöte) sowie die hierzu notwendigen Arbeitsschritte an; ferner sollte hinterfragt werden, ob es sich um ein funktionsfähiges Musikinstrument oder nur um ein Modell eines solchen handelt. Ähnlich kleine, als Modelle angesprochene Flöten finden sich unter den Ausstellungsnummern 279-308 in der Dauerausstellung der Sammlung alter Musikinstrumente (SAM) in Wien. Beim Fragment von Schloss Tirol indes sprechen der Fundort und die Fundsituation eher für ein „reales“, wenn auch sehr filigranes Musikinstrument. Durch die virtuelle Modellierung war es möglich, Flöten mit drei oder auch vier vorderständigen Grifflöchern auf Grundlage unterschiedlicher Vergleichsobjekte zu generieren. Im 3D-Ausdruck sollten in Folge die Bespielmöglichkeiten dieser Versionen getestet werden. Da die Schicht, aus der das Fundobjekt stammt, relativstratigraphisch sicher datierbar ist, konnte unter anderem der Versuch unternommen werden, zeitgleiche Melodien oder Harmonien auf der Replik zu spielen.

Das einzige bisher einwandfrei identifizierte Fragment des Instruments weist zwei vorderständige Grifflöcher auf, deren Durchmesser 3,1 mm beträgt und die einen Abstand von 5,1 mm voneinander aufweisen. Die exakte Situierung dieses

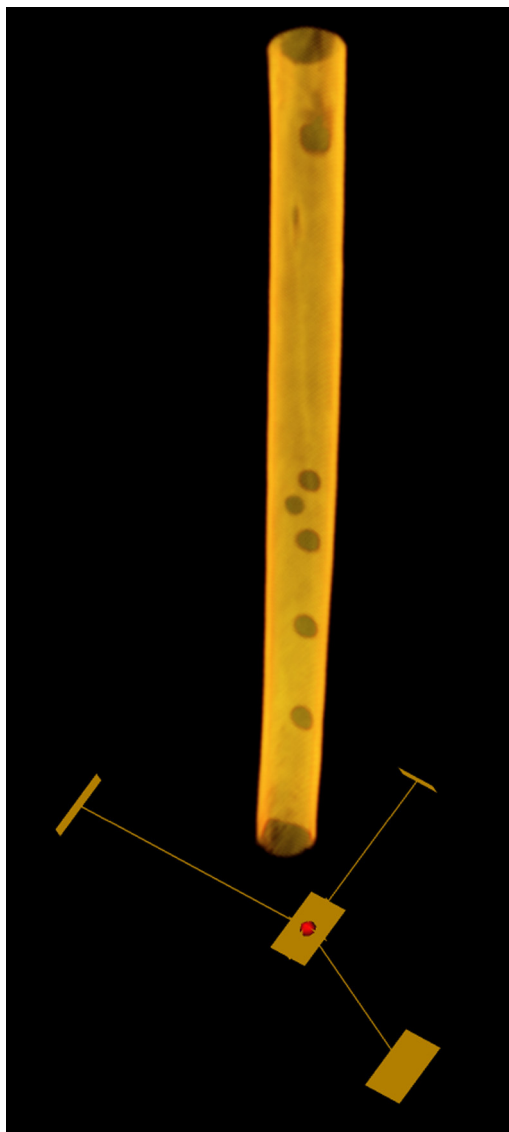


Abb. 3: *Digitales Modell des Flötenfragments aus Schloss Tirol. – Flute fragment from Castle Tirol, digital model.*

Stücks „innerhalb“ einer Ergänzung ist letztendlich aber nicht eindeutig, da seine erhaltene Länge nur 30 mm bei einer Wandstärke von ca. 1 mm und einem Durchmesser von 7 mm beträgt. Gesichert ist aber die feine Bearbeitung des Stücks, belegbar durch Schleif- und Glättspuren an der Knochenaußenseite sowie einer Überarbeitung der erhaltenen



Abb. 4: *Analoge Replik und 3D-Ausdruck des ergänzten Flötenfragments aus Schloss Tirol. – Flute fragment from Castle Tirol, analogous and digital printed model.*

Grifflöcher, die mit einem konischen Werkzeug in den Knochen gebohrt wurden.

Vorgangsweise

Analoge 2D-Dokumentation

Die erste Dokumentation der Fragmente erfolgte auf herkömmliche Weise. Beide Fundobjekte wurden nach Erhebung ihrer metrischen Daten als Strichzeichnung in Kombination mit einer auf fototechnischer Basis erstellten Ansicht auf eine 2D-Ulna einer Gans appliziert, um deren Lage im „Gesamtkontext“ verstehen zu können. Dabei ergaben sich unterschiedliche Probleme, wie z. B. die exakte Position der Grifflöcher im Gesamtkontext. Diese und andere Fragen konnte eine zweidimensionale Visualisierung nicht klären.

Analoge 3D-Replik

Aus diesem Grund wurde am Institut manuell eine 3D-Replik, basierend auf ähnli-

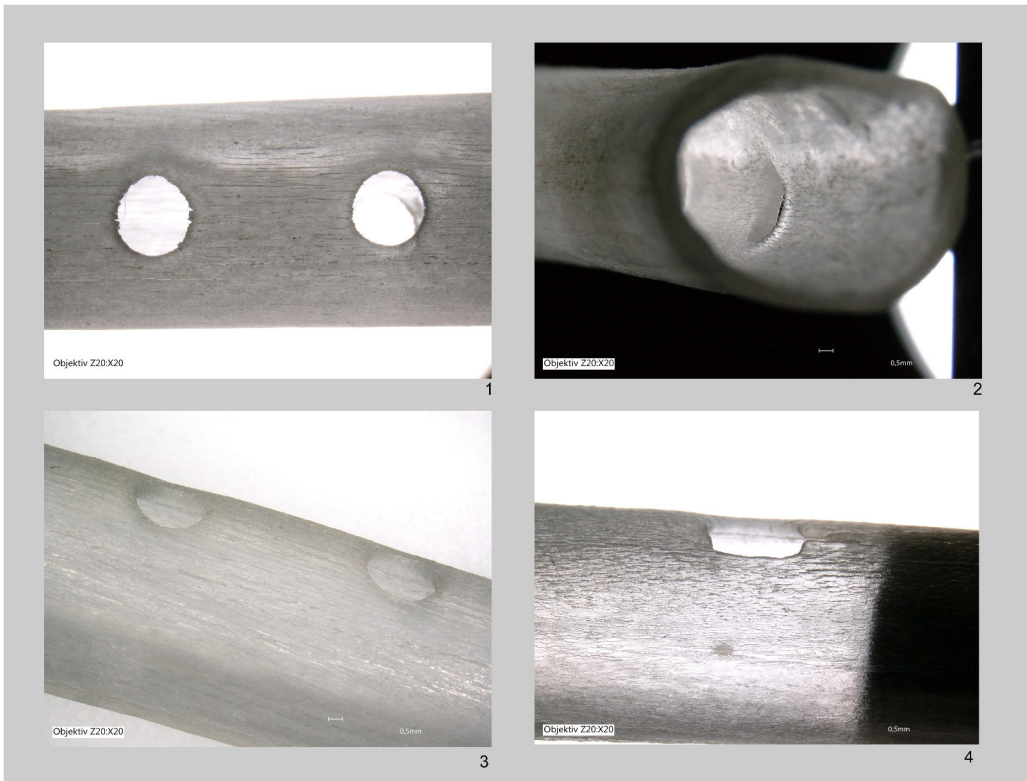


Abb. 5: Detailansichten des 3D-Ausdrucks des ergänzten Flötenfragments aus Schloss Tirol: 1+3 vorderständige Grifflöcher; 2 Flötenfuß Innenansicht; 4 Flötenkopf mit Aufschnitt. – Details of the digital printed flute fragment from Castle Tirol: 1+3 front handle holes; 2 lower part of the flute, inside view; 4 flute head with labium.

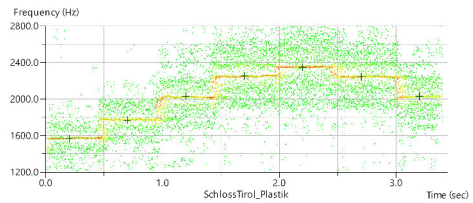
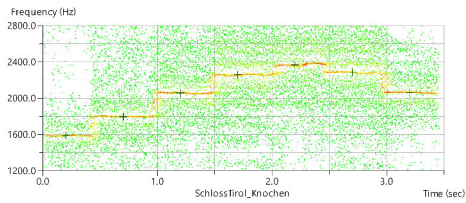
chen Flöten, (MEGAW 1990, 723, fig. 205,2267; RÖBER 1995, 921, Abb. 41,2.3; MCGREGOR 1985, 149, fig. 78b) aus der Ulna einer rezenten Gans hergestellt. In diesen Knochen wurden, beziehungsweise auf die Daten des Originals, die erhaltenen Grifflöcher gebohrt.

Die Justierung weiterer interpolierter Grifflöcher sowie des Aufschnitts erfolgte auf Grundlage vergleichbarer Objekte. Das Ziel war es, abzuklären, welche Positionen möglicher Grifflöcher an einer solchen Flöte überhaupt sinnvoll sein könnten, unter anderem im Bezug auf eine Spielbarkeit des Stücks.

Digitaler 3D-Print

Basierend auf dieser analogen Replik konnte mittels Micro-CT-Scan und 3D-Druck eine Replik der analog hergestellten Rekonstruktion generiert werden, um die schon eingangs aufgelisteten Fragen zu klären. Hier sollten die Exaktheit von Micro-CT-Scan und Hochleistungs-3D-Druck sowie die Materialeigenschaften der verwendeten Materialien durch praktisches Bespielen und damit verbundene Frequenzmessungen überprüft und mit identen Analysen an der analogen Replik aus Knochen verglichen werden.

Die Micro-CT-Aufnahmen wurden auf einem Scanco Xtreme CT in einer Auflösung von 30µm durchgeführt. Anschlie-



Frequenzen:	Knochen	Plastik
Marker (0)	1586.67000000	1568.89000000
Marker (1)	1795.56000000	1768.89000000
Marker (2)	2057.78000000	2031.11000000
Marker (3)	2257.78000000	2253.33000000
Marker (4)	2368.89000000	2346.67000000
Marker (5)	2284.44000000	2244.44000000
Marker (6)	2062.22000000	2031.11000000

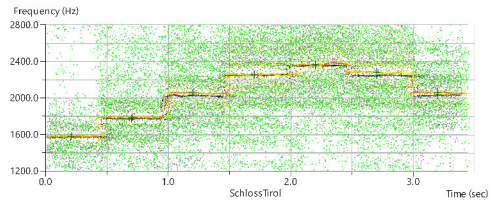


Abb. 6: Frequenzanalysen der Replik. Knochenreplik in Farbe hinter der 3D-Replik in Schwarz. – Frequency analyses of the replica. Bone replica in colour behind the 3D-print in black.

ßend wurden die Voxel-Daten mit Amria 5.4 in Oberflächenfiles (STL) mittels Schwellwertsetzung umberechnet, die für den Modellbau wesentlich sind (Abb. 3). Für den 3D-Druck wurde aufgrund der hohen Ortsauflösung das Objet-Verfahren der Firma Stratasys, gebaut von der Firma Swarovski, eingesetzt. Gedruckt wurde auf einem Eden 350 3D-Printer in biokompatiblen MED 610 Material. So repliziert kann sowohl an der Außenseite, aber auch vor allem im Innenbereich der Flöte ein Höchstmaß an Genauigkeit erzielt werden (Abb. 4).

Wie exakt dieser 3D-Print ist, zeigen Detailansichten aus dem Bereich der vorderständigen Griffhöcher und aus dem Innenbereich des Ausdrucks, welche die Knochenstruktur ebenso wie die Bearbeitungsspuren 1:1 wiedergeben (Abb. 5). Somit war es möglich, eine exakte, beispielbare und endlos replizierbare Replik zu erzeugen, deren Herstellung das Original in keiner Form tangiert; die Herstellung ist für das Original kontaminations- und zerstörungsfrei.

Die digitale Replik ist bis zum kleinsten

Detail ein exakter Klon des Originals.

Diese Genauigkeit der Abformung schlägt sich auch in der Beispielbarkeit des Ausdrucks nieder, dessen Frequenzgang ident zu dem der Replik aus Gansknochen ist (Abb. 6). Unsere ersten Ausdrücke mit Polyamid waren nicht zufriedenstellend. Wir haben des Weiteren in Kooperation mit der Medizinischen Universität Innsbruck und der Firma Swarovski VisiJet Tough und RGD 720 getestet und letzteres Material aufgrund der geringsten Flexibilität gewählt. Um die Gesundheit der Tester nicht unnötig zu gefährden, wurde inzwischen auf die biokompatible Variante (MED610) desselben Werkstoffs umgestellt.

Fazit/Ausblick

Die ersten Versuche legen nahe, dass das hier vorgestellte Verfahren des Einscannens von archäologisch geborgenen Musikinstrumenten mit folgendem 3D-Ausdruck sehr vielversprechend ist und eine für analoge Rekonstruktionen unerreichte Genauigkeit ermöglicht. Dennoch



Abb. 7: Flötenfragment 419/16 aus Oberaudorf: 1 Gesamtdokumentation des Fragmentes; 2 Detailedokumentation mit RTI. – Flute fragment 419/16 from Oberaudorf: 1 complete documentation of the fragment; 2 detailed documentation with RTI.

sind weitere Tests nötig, um das volle Potential dieser Methodik (inklusive 3D-Ergänzung und 3D-Strömungsanalysen) zu erreichen. Daher sind weitere Pilotprojekte bereits angelaufen, derzeit namentlich die 3D-Replizierung von zwei kompletten, mutmaßlich karolingischen Einhandflöten (?) aus Müstair (Kanton Graubünden/Schweiz) und zweier spätmittelalterlicher Flöten von der Auerburg bei Oberaudorf (Landkreis Rosenheim/Deutschland) (Abb. 7). Die Ausweitung auf weitere Fundobjekte ist geplant (siehe AMMANN, PRAXMARER 2018) und Kooperationsangebote sind willkommen. Langfristig soll auch eine Open-Access-Datenbank mit den 3D-Daten erstellt und öffentlich zugänglich gemacht werden. Aus Sicht der Autoren ist dies ein wichtiger

und notwendiger Schritt, der dazu beiträgt, die Musikarchäologie in das digitale Zeitalter zu überführen und den internationalen Austausch von präzisen Datensätzen als Grundlage für weiterführende Experimente zu erleichtern.

Bei allem Potential der digitalen Techniken soll abschließend betont werden, dass der analoge Nachbau dadurch in vielen Aspekten wie Arbeitsaufwand, Arbeitstechniken etc. keinesfalls ersetzbar ist (BENITO, GRACIA, PÉREZ 2016) sondern lediglich ergänzt werden kann. Aus diesem Grund befasst sich die AGMAI auch weiterhin mit analogen Nachbauten, wobei aktuell die eisenzeitliche Hirschgeweihharfe bzw. -lyra aus Fritzens (TOMEDI 2001, 31-33, Abb. 19) in Bearbeitung steht (Abb. 8).

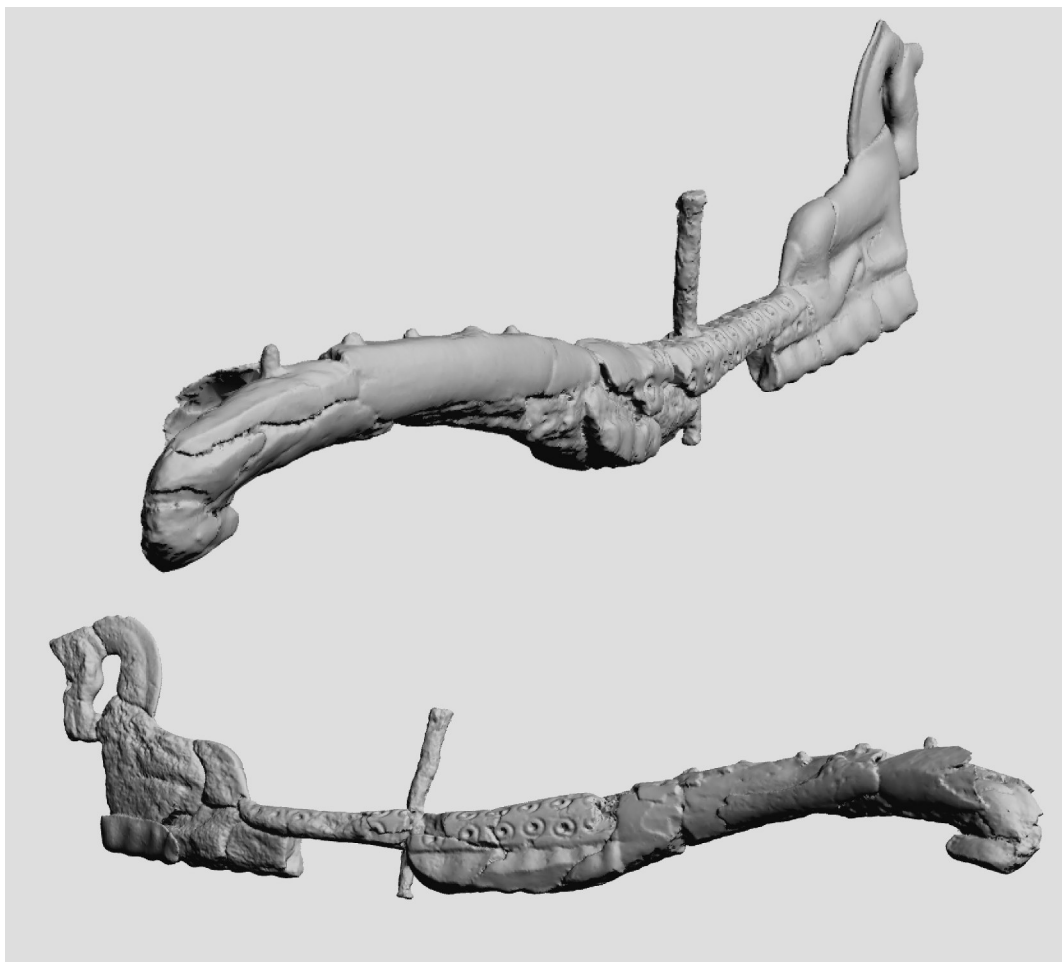


Abb. 8: Harfe/Lyra von Fritzens-Pirchboden, 3D-Modell. – Harp/Lyre from Fritzens-Pirchboden, 3D-model.

Danksagung

Wir bedanken uns bei Gerald Degenhart, MSc, Universitätsklinik für Radiologie, MUI sowie Herbert Kraler und der Firma Swarovski Wattens für das Ermöglichen der Machbarkeitsstudien.

Danke an Prof. Univ.-Doz. Dr. Raymond Ammann (Fachgebiet Musikethnologie am Musikwissenschaftlichen Institut der LFU). Ohne die Unterstützung am Institut für Archäologien der LFU wären unsere Experimente nicht möglich gewesen: Univ.-Prof. Dr. Erich Kistler, em. Univ.-Prof. Dr. Walter Leitner, Dr. Nadja Ried-

mann, Univ.-Prof. Dr. Harald Stadler und Dr. Ulrike Töchterle.

Literatur

AMMANN, R., PRAXMARER, M. 2018: Music in the Palaeolithic Age. Outline for an Interdisciplinary Approach of Cognitive Musicarchaeology and Experimental Archaeology. Erscheint in der Publikation zur Vorlesungsreihe "Recent Trends & New Directions in Ethnomusicology", Kunst Universität Graz 28-29.05.2018.

BENITO, C., GRACIA, M., PÉREZ, C. 2016: Reproduction of an Upper Palaeolithic

Bird-Bone Pipe with Finger Holes from Isturitz. First Experiments. In: R. Eichmann, L.-Ch. Koch, F. Jianjun (Hrsg.), Studien zur Musikarchäologie X. Orient Archäologie 37, Rahden/Westfalen 2016, 213-223.

CIRESA, M. 2006: Die eisenzeitliche Siedlung am Pirschboden oberhalb Fritzens. Ungedruckte Dissertation an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, eingereicht 2006.

CONARD, N., u. A. 2015: Flötenklang aus fernen Zeiten. In: Archäologie in Deutschland, Sonderheft 07. Stuttgart 2015, 30-37.

FLATSCHER, E. 2018: Die Artefakte aus Knochen und Geweih aus dem Wirtschaftstrakt von Schloss Tirol. In: H. Stadler, E. Flatscher (Hrsg.), Schloss Tirol 3. Schloss Tirol 2018, 396-421.

McGregor, A. 1985: Bone, antler, ivory and horn. Beckenham 1985.

MEGAW, J. V. S. 1990: Bone whistles and related objects. In: M. Biddle (Hrsg.), Object and economy in medieval Winchester. Artefacts from medieval Winchester 2. Winchester studies 7. Oxford 1990, 718-723.

RINGOT, J.-L. 2012: Upper Paleolithic Aerophones – Flute or Pipe? An Experimental Approach. Summary Report. In: R. Eichmann, J. Fang, L.-Ch. Koch (Hrsg.), Studies in Music Archaeology VII. Rahden/Westfalen 2012, 389-391.

RÖBER, R. 1995: Zur Verarbeitung von Knochen und Geweih im mittelalterlichen Südwestdeutschland. Fundberichte aus Baden-Württemberg 20, 1995, 885-944.

SCHICK, M. 2001: Mittelalterliche und neuzeitliche Musikinstrumente sowie Klanggeräte aus Tiroler Bodenfunden. In: K. Drexel, M. Fink (Hrsg.), Musikgeschichte Tirols 1: Von der frühen Neuzeit bis zum Ende des 19. Jahrhunderts (Schlern Schriften). Innsbruck 2001, 81-144.

SCHICK, M. 2010: Die Einhandflöte aus den Gewölbezwickelfüllungen von Schloss Lengberg in Osttirol. In: H. Stad-

ler (Hrsg.), Lengberger Studien zur Mittelalterarchäologie 1. Nearchos Beiheft 8. Innsbruck 2010.

TOMEDI, G. 2001: Zur vorgeschichtlichen Musik im Raum Alttirol und im Südalpenraum. In: K. Drexel, M. Fink (Hrsg.), Musikgeschichte Tirols 1: Von der frühen Neuzeit bis zum Ende des 19. Jahrhunderts (Schlern Schriften). Innsbruck 2001, 11-37.

Abbildungsnachweis

Abb. 1, 2, 4, 5, 7: Grafik, Fotos M. Schick

Abb. 3: Grafik W. Recheis

Abb. 6: LARA Spektrogramme:

M. Praxmarer

Abb. 8: Scan: M. Moser; Grafik: M. Schick

Autoren

Dr. Elias Flatscher MA
Kunsthistorisches Institut der Universität
Zürich
Lehrstuhl für Kunstgeschichte des Mittel-
alters und Archäologie der frühchristli-
chen, hoch- und spätmittelalterlichen Zeit
Rämistrasse 59
8006 Zürich
Schweiz
Elias.Flatscher@uzh.ch

Michael Praxmarer MA
Dissertant zwischen Institut für Archäolo-
gien und Musikwissenschaftlichem Institut
der Leopold Franzens Universität
Innsbruck
Langer Weg 11 / Universitätsstraße 1
6020 Innsbruck/Tirol
Österreich
much.praxmarer@gmail.com

Wolfgang Recheis, PhD
Universitätsklinik für Radiologie, Medizini-
sche Universität Innsbruck
Anichstrasse 35
6020 Innsbruck/Tirol
Österreich
wolfgang.recheis@i-med.ac.at

Mag. Michael Schick
Institut für Archäologien der Leopold
Franzens Universität Innsbruck
Langer Weg 11
6020 Innsbruck/Tirol
Österreich
michael.schick@uibk.ac.at